

지하공간의 환경과 공기조화설계

지하공간에서의 안전하고 건강한 인간활동을 위해서 요구되는 환경조건과 시설설계를 설비적 측면에서 알아본다.

심 낙 권, 이 진 섭

지하공간의 환경

지하공간을 이용하기 위해서는 그곳에서 생활하고 작업하는 사람에 대한 안전하고 건강한 환경의 지속적인 확보가 중요하다. 또한 폐쇄적이며 인공환경인 지하환경을 이용하기 위해서는 단기적인 영향뿐만 아니라 장기적으로 인체환경에 미칠 영향도 검토하여야 한다. 이를 위해서는 지하공간의 환경조건에 대한 검토가 필요하며 설비적 측면에서는 다음과 같은 환경으로 구분할 수 있다.

열에너지환경

일반적으로 지하공간은 외부기온의 영향을 거의 받지 않으므로 일정한 온·습도환경을 조성하기가 용이하지만, 지하수위가 높고 하절기 기후가 고온다습한 지역은 벽면의 온도가 낮아지므로 결로문제가 발생하고 지하공간이 고온다습화되기 쉽다. 습도가 높은 곳은 신체의 피부로부터 땀의 증발로 인한 방열이 저해되므로 불쾌감이 증대하며 곰팡이의 발생을 촉진시키고, 각종 알레르기반응을 일어나게 할 가능성이 있다.

열에너지환경 기준은 일반 건물에 대한 열환경과 크게 다르지는 않지만 계절에 따라 보다 세심하게 쾌적한 환경기준을 고려하여야 한다. 즉, 작업량이 극히 경미한 장소는 하절기 24~27℃, 동절기 20~23℃, 습도는 50~60%로 하여도 좋으나 온도허용범위를 일반 건물보다 낮게 하는것도 고려되어야 한다.

년중에 걸쳐 일정한 온습도의 지하공간을 설정하는 것은, 인체의 계절적응을 고려할 때 문제가 많으므로,

계절에 따른 온습도조건의 조절이 필요하며, 더욱이 활동시간과 수면시간배분을 기초로하여 하루중의 변화(주간은 고온, 야간은 저온)를 고려하는 것도 좋다. 특히, 지하공간에서는 태양광선같은 정보가 없어 계절 및 시간감각이 희박해질 우려가 있으므로 이러한 점을 인식할 수 있도록 생활측면에서의 배려도 필요하다.

공기환경

창문이 없는 지하공간은 자연환기가 거의 불가능해서 공기가 오염되기 쉬우므로 CO₂, CO, 분진, 기타유독가스가 인체에 미치는 유해한 영향을 심각히 고려하여야 한다.

환기불량으로 인하여 공기가 오염되기 쉬운 지하공간에는, 필요환기량을 정하고 적어도 산업안전보건법과 같은 관련법규에 제시된 CO₂, CO, 부유분진의 관리기준을 준수하여야 한다.

또한, 유해물질은 단기고농도폭로(短期高濃度暴露)로 인한 영향은 비교적 자각하기가 쉽지만, 드레인과 저농도(低濃度)가스의 장기폭로(長期暴露)로 인한 인체영향은 간과하기가 쉬우므로 각별히 주의하여야 한다.

또한 지하공간의 근무자에게는 특수환경 작업자로 간주하여 정기건강검진과 잔업의 규제가 필요하다.

소음환경

일반적으로 지하공간은 외부로부터의 소음침입은 거의 없고, 오히려 내부소음이 외부로 누출되는 특성이 있다.

심 낙 권 세익설비기술(주)(seek@kornet.net)

이 진 섭 세익설비기술(주)(seek@kornet.net)

<표 1> 실내소음설계 기준값

실의 종류	요구되는 RC 또는 NC범위
주택지	25~30
아파트	30~35
호텔객실	25~30
사무실	35~45

다만, 지하에는 생활에서 발생하는 주파수의 음이 가득차기 쉬우므로 이에 대한 대책이 필요하며, 특히 지하공간에 발생하는 소음(공조기기 등)이 근무자의 불쾌감을 증폭시켜 생리적으로 악영향을 끼치지 않도록 노력하는 것이 필요하다.

실내소음에 대해 법으로 정한 특별한 기준은 없으나 ASHRAE에서 제시하는 설계기준값은 표 1과 같다.

또한 지하공간은 공간구획에 따라 쉽게 음이 완전히 차단되기 쉬우므로, 특별히 1인이 지하공간에 있을 경우 과도하게 정숙한 폐쇄공간이 되면 이러한 환경이 오히려 상대적으로 작업자에게 스트레스가 될 수 있다는 점도 고려해야 한다

설비설계

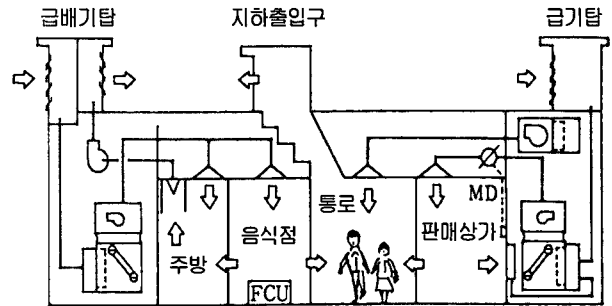
공기조화

지하가의 공기조화는 크게 열에너지측면과 환기측면에서 일반건물과 다른 특성이 있다.

열에너지측면의 특성으로는, 열손실·열취득이 적으며, 부하변동이 적고, 피크부하가 없으며, 환기로 인한 열부하와 내부발열로 인한 냉방부하가 있으며, 결과 대책이 필요하다. 또한 환기측면에서의 특성은 환기부족이 되기 쉬운점과 각종 공기오염의 해결이 필요한 점이다.

그러므로 공기조화조건은 일반건물과 기본적으로 동일하지만 특수성을 고려하여 공기환경기준치를 상회하는 조건으로하는 것이 바람직하다.

상가와 음식점으로 구성된 지하가의 공조계획에서는 부하변동이 적고, 다량의 배기가 필요한 주방이 있는 음식점부분과, 조명 및 기타부하가 비교적 안정되어있고 다량의 배기가 필요치 않은 판매점부분을



[그림 1] 지하가 공조시스템 및 기류방향

나누어 계획하는 것이 일반적이다.

지하가의 대표적인 공조시스템을 그림 1에 나타낸다.

이 시스템은 지하출입구부근의 공기상태는 악화되기 쉽지만, 지하가 전체를 가압상태로 유지하면 오염된공기와 비공조지역의 공기가 지하가로 침입되기 어려운 특성이 있다.

지하가(통로부분)의 온열환경조사결과에 따르면, 냉방시에는 26℃~28℃, 습도는 50~60%범위에 있으며 난방시에는 17~20℃, 30~50%로 운용되며 풍속은 전체적으로 0.5m/s범위내에 형성되고 있는 것으로 나타났다.

소음

자연음(소음을 포함)은 없이 전혀 다른 소음으로 가득차 있어 마이너스요인이 되지만 대충 지상과 동일한 용도의 장소에 대응하는 설계치가 된다. 특히 지하공간에는 소음을 고려한 출입구배치 및 평면계획이 이루어지고 있고, 평상시 소음을 발생하는 설비 기기류에 대해서는 방음·방진으로 대처하고 있다.

소음에 관해서는 용도에 따라 표 1 이하의 소음레벨로 유지되는 것이 바람직하다. 또한 비교적 길이가 긴 통로에는 백그라운드뮤직 등을 조성하여 보행자의 쾌적성을 유도하기도 한다.

지하공간내에서의 환경 대책 기술

공기청정기술

실내공기의 오염물질은 부유미립자, 유독가스, 부

유미생물의 3가지로 대별할수 있으며 부유미립자는 에어필터, 전기집진기로 집진하며, 유독가스는 활성탄필터를 중심으로하는 가스제거용 공기청정장치로 처리한다. 부유미생물은 에어필터, 살균 등이 주로 사용되며 보통은 공기조화장치내에 조립되어 사용되어 지는 일이 많다.

부유미립자의 분리기구는 입자의 동력학적특성에 따라 대별되는데 ①중력 ②원심력(관성력) ③장애물과의 충돌 ④확산 ⑤정전기력 등을 이용한다. 실제 공기정화기술에서는 이러한 분리력을 단독으로 사용하지는 않고 통상 여러종류의 분리력을 복합사용하는 경우가 많다.

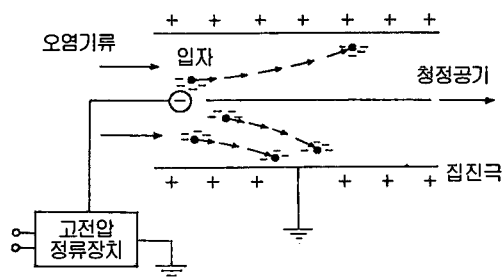
한편 가스상 오염물질의 분리제거에 관해서는, 공기자체의 구성이 질소, 산소로 된 가스이므로 분리는 특정성분을 대상으로 하는 선택분리를 한다. 이러한 방법에는 흡수, 흡착 및 화학반응의 세종류가 있다.

• 부유미립자제거

- 에어필터

현재 실용되고 있는 것은 포집효율이 높으며, 압력손실이 적고, 입자포집용량이 큰 장점을 가진 섬유층진층을 여재로하는 섬유층필터가 있다. 또한 정화원리와 대상입경(粒徑)의 크기로 분류하는 경우도 있다.

- 정화원리로 분류: 정전식(靜電式), 여과식, 충돌점착식
- 대상입경으로분류: 조진(粗塵)필터, 중성능(中性能)필터, 고성능필터, 초고성능필터



[그림 2] 전기집진의 원리

- 전기집진

전기집진의 원리는 그림 2와 같이 코로나방전에 의하여 공기중의 분진이 전하를 띄고, 그 하전입자를 쿨롱력에 의하여 집진극판으로 이동시켜 제거하는 것이다. 입자의 하전(荷電)과 집진을 동일공간에서 하는 전기집진기를 단단형(單段形)이라하며, 집진극형상에는 평판형과 원통형이 있다. 분진의 분리포집이 진행될 때 집진극위에는 분진의 부착이 누적되므로 기계적으로 제거하는 방법이 필요하다. 제거하는 방식에는 습식과 건식이 있다.

• 가스제거

가스로인해 공기가 오염된 경우 이를 제거하는 방식에는 흡착, 흡수 및 화학반응의 3가지로 구분된다. 흡착은 기체중에 있는 성분이 고체(흡착제)표면에 농축되는 현상으로 물리적흡착과 화학적흡착으로 나누어진다. 물리적 흡착은 통상 포화증기농도이하의 농도까지는 응축온도이상의 온도로 올리면 응축이 가능하다. 화학적 흡착은 피흡착제와 흡착제사이의 화학반응으로 이루어진다.

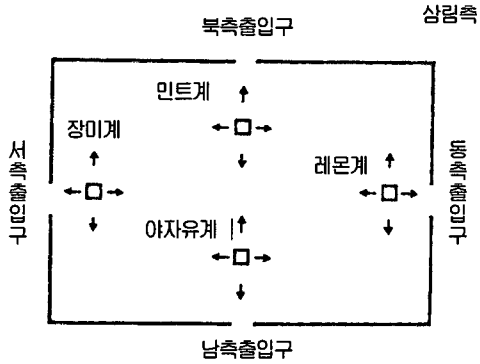
흡수는 기체중에있는 성분이 흡수액에 용해되는 현상으로 단순한 용해의 경우를 물리적 흡수, 화학적반응이 수반되는 것을 화학적 흡수라 한다.

향공조시스템

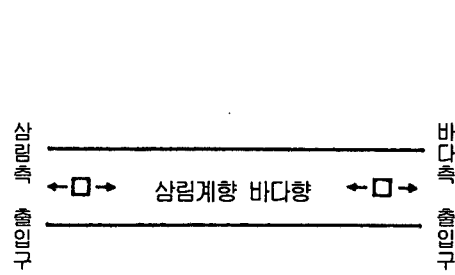
향공조시스템은 실내환경의 쾌적성 향상을 도모하는데 있고, 향으로 인하여 거주자의 스트레스가 완화되고, 기분전환(refreshment)를 촉진하려는 의도가 있다. 쾌적성향상에 덧붙여 각종 목적(체감, 온도, 영양, 시보, 경보, 위치인지 등)에 부합되는 다목적 향공조시스템이 개발되어지고 있다.

쾌적성향상 아로마(향기)와 시보(時報)아로마 등은 지하의 무미건조한 공간에 자연감을 부여하고 거주자의 기분전환에 크게 기여한다고 생각할수 있다.

또한 경보용 아로마는 음향경보와 시각경보를 병용하므로써 인지효과를 한층 높일 수 있을 뿐 아니라 청각기능 저하자에게 조기에 비상상태를 인지할수 있게



(a) 지하쇼핑상가



(b) 지하철 플랫폼

[그림 3] 위치확인용 아로마 설치의 예

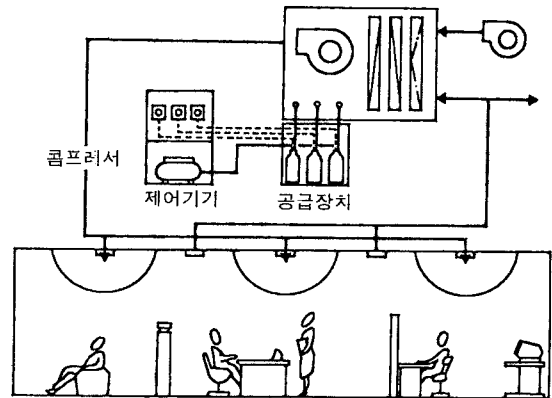
하여준다.

지하공간에서 특별히 그 효과를 발휘할 수 있다고 생각되는 것은 위치인식 아로마인데 지하공간에 체류하는 사람은 통상 위치인식이 불명확하므로 건축적인 배려로서 내장컬러를 구역에따라 변화시킨다든지, 위치확인용 메시지보드나 지도 등의 시각적 정보전달물을 설치할 수도 있으며 이러한 시스템에 향시스템을 부가시키므로써 위치확인효과를 더욱 높이는 일이 가능하다. 예를 들어 그림 3과 같이 지하상가출입구의 위치확인과 지하철역의 플랫폼에서 방향과 위치를 인식하는 수단으로 적용하는 것을 고려할 수 있다.

현재 사용되고 있는 항공조시스템은 그림 4의 예와 같이 액체상향료를 압축공기로 안개화하여 분무하며, 에어졸분무방식, 초음파발진자에 의한 강제기화하는 방식과, 겔(GEL)상태의 향료를 자연기화시켜 덕트와 팬을 이용, 대상공간에 송풍하는 방식이 주류를 이루고 있다.

대상공간은 대·중·소 여러 분기로 나뉘어져 있으며 대구역 항공급시스템의 일례는 다음 그림과 같다.

이 항공급장치는 강제분무(컴프레서 사용)+덕트 확산방식으로 공기조화기와 덕트를 통하여 실내에 향이 공급되는 시스템이다. 그밖에 ULV(ultra low volume)식 스프레이 노즐을 사용하여 미세한 향입자(5~20 μ m정도)를 발생시키므로써 향의 확산성을 향



[그림 4] 항공급시스템의 예

상시키고 균일한 농도의 향환경실현을 가능하게 한다. 공급장치는 컴프레서와 제어기기가 있는 컨트롤 박스 및 향보관용기와 스프레이노즐이 있는 아로마박스로 이루어져 있다.

지하공간내의 환경제어기술

공기정화시스템

지하가 등의 지하공간에서의 쾌적한 주거공간을 유지하기 위한 환경제어기술인 공기정화시스템은 주로 CO₂, 유해가스, 미립자제거와 온·습도 등의 공기제

어수법을 적절하게 조합하여 가능하게된다. 실내에서 발생하는 주요한 오염물질은 표 2와 같다. 여기에서는 지하공간에 관련되는 대표적인 오염물질제거방법에 대하여 기술한다.

• 미립자제거법

기체중의 미세입자를 제거하기위하 분리하는집진 기술에는 여러방법이 고안되었고, 각각의 특징이 있으며 표 3과 같다.

중력침강방식은 입자의 중력으로인한 자연침강현상을 이용하는 것으로 입경 50 μ m이상의 비교적 큰입자를 분리하는데 적합하다. 원심력집진(사이클론)은 원심력을 이용하여 기체로부터 분리시키는 것으로 입경 5~200 μ m의 입자에 대하여 약 96%의 집진효율을 갖는다. 습식세정은 세정액으로 기체중의 입자와 분자오염물질을 동시에 제거 할 수 있다.

여과방식은 미세한 구멍이 있는 여체에 공기를 통과시켜 입자를 분리하는 방식으로 집진효율은 5 μ m까지 99%이상 집진이 가능하다. 전기집진방식은 직류의 고전압을 방전전극과 집진극에 가하여 방전시키므로서 발생하는 이온으로 집진하는 방식으로 1/10 μ m

입자까지 우수한 집진성능을 얻을 수 있다.

• CO₂제거법

폐쇄된 지하공간에서의 생활에서는 CO₂농도를 일정치 이하로 할 필요가 있다. 이러한 방법에는 ①외기를 도입하는 방법 ②CO₂를 제거하는 방법이 있다.

CO₂제거방법에는 흡착식이 소형·경량·내구성 및 유지보수면에서 제일 유리하지만 제거장치의 최적화 및 고성능흡착제의 개발과제가 있다. CO₂제거장치에서 제거·농축된 CO₂에 H₂를 첨가하면 보쉬(Bosh)반응으로 H₂O와 C로 환원되며, H₂O를 전해하여 산소 O₂를 얻는 시스템도 있는데 완전히 폐쇄된 공간에서 필요한 시스템이 된다.

• NO_x제거법

질소산화물은 석유·석탄 등의 화학연료의 연소과정에서 발생하는 것으로 제거방식에는 ①건식법 ②습식법이 있다. 건식법에는 접촉분해법, 접촉환원법, 흡착법 및 흡수법 등이 있고, 각기 촉매성능상의 문제점을 갖고 있다. 습식법에는 흡수법(알칼리, 유황산), 산화흡수법(아염산나트륨, 과망간산칼륨오존), 환원

<표 2> 실내에서 발생하는 주요 오염물질

발생경로	발생원인 및 오염물질
인 체	호흡 : CO ₂ , 수증기, 취기 재채기, 기침, 대화 : 세균입자 피부 : 각질, 암모니아, 취기 의류 : 보프래기, 세균, 취기 화장품: 각종 미세물질
인간활동	흡연 : 분진, 타르, 니코틴, 각종 발암물질 보행 : 분진, 섬유류, 세균
	연소기구: CO ₂ , CO, NO _x , SO _x 탄화수소, 매연, 취기
	사무기기: 암모니아, 오존, 용제류
건물자체	건축자재 : 포름알데히드, 아스베스트 섬유, 글라스섬유, 라돈 및 변형물질, 접착제, 용제, 세균 등
유지보수	작업밀 자재 : 분진, 파편, 섬유, 세제, 용제, 세균
살충제류	살충제, 방충제, 소독제 등

<표 3> 각종 집진 방식의 특징 및 적용 예

구 분	중력침강	사이클론	습식세정	여 과	전기집진
설비용량(m ³ /h)	대	중	중	중	대
유지비	소	소	중	소	중
압력강하(mmH ₂ O)	3~12	25~125	25~125	5~125	2~15
집진효율(%)	50~90	70~95	>90	50~99	70~100
경제최소입경(μ m)	50~200	5~200	1	2~5	0.1
최고온도(°C)	구조재질에 따름	600	액체의 비등점	재질에 따름	650
유속(m/s)	3	6~20	1~5	1	2~5
적용예					○
석탄, 석유화학발전소		○			○
펠트·제지공장			○		○
시멘트공장		○	○	○	○
제련소		○	○	○	○
석유공장	○	○			○

법(아황산염, 암모니아염소) 등이 있다.

현재 배염탈초(排鹽脫硝) 장치에는 250℃~450℃의 온도로 80~90%의 탈초율 달성하고 있지만, 지하주차장같은 구체적인 설치조건에 부합하는 최적의 제거방법 선정이 필요하다.

• SOx제거법

유황분을 연소시키면 배연중에 이산화유황이라는 유황산화물이 발생하는데 이 제거법을 배연탈황이라 한다. 주로 ①건식법과 ②습식법으로 분류된다.

일반적으로 건식은 배연처리로 인한 온도저하가 없고, 황산이 적어 연돌부근에 분진 강우현상이 없는 이점이 있는 반면, 처리장치가 대형으로 되어 설비투자비가 고가로 되는 단점이 있다. 또한 습식법에는 높은 탈황성능이 기대되는 장치도 비교적 소형으로 할 수 있으나 백연(白煙)이 발생하는 단점이 있으나 실용적으로는 습식법이 채용되는 경향이 있다.

• 유해가스제거법

취기성분과 탄화수소 등 유해가스의 제거방법에는 ①산(酸), 알칼리 등의 약품에 의한 흡수 ②활성탄에 의한 흡착 ③촉매에 의한 산화분해 등이 있다. 촉매산화법은 각종 촉매를 이용하여 300℃정도에서 산화·탈취하는 방법이다. 구조재료와 내구성 등의 측면에서 유리한 점이 있으나, 납과 유황 등이 처리중에 공존하여 촉매표면에 달라붙어 성능을 떨어뜨리는 일이 있다. 각종 촉매가 사용되고 있지만 선정에는 높은 활성, 안정성, 장기간 촉매작용 유지, 기계적강도와 열안전성이 우수한 것이 좋다.

• 미생물제거법

미생물오염방지·제거법에는 ①발생원대책(항온항습) ②제거·살균법(필터, 오존) ③자외선 조사살균 ④살충제·소독제 ⑤마이크로파 살균 등이 있다. 부직포를 이용한 각종 필터에는 65~90%이상의 제균율이 얻어질 수 있다.

자외선조사에 의한 살균에는 조사거리와 조사효과에 따라 효과가 떨어지는 등의 특징이 있으므로 적용

에 주의가 필요하다.

온·습도 제어시스템

온도·습도의 제어는 일반적으로 셀-튜브형 열교환기에 의한 공조시설로 이루어지는데, 최근에는 축냉·축열장치가 개발되어 사용되고 있으며 폐열회수에 의한 미이용에너지의 이용도 고려되고 있다.

축열이란 열에너지를 저장하는 것이며, 증열(增熱)은 저위레벨의 열에너지를 고위레벨로하여 이용가치를 높이는 것이다. 축열의 방법에는 ①현열축열 ②화학축열 ③잠열축열 ④농도차축열 등이 고려되고 있다.

현열축열은 물질의 온도를 상승시키고 보온하여 열에너지를 유지하는 방법으로 축열에너지량은 열용량과 온도상승에 비례한다. 축열재가 저렴하고, 특별한 기술이 필요치 않으며 열교환기가 필요없다는 등의 이점이 있으나, 축열밀도가 낮고 열손실이 많으며 단열재가 필요한 것 등의 단점이 있다. 물탱크, 태양열열못, 석암층진, 토양, 지하수조 등의 사례가 있다.

화학축열은, 화학반응열을 이용하여 축열하는 방법으로 반응열과 반응물질량에 따라 결정된다. 비교적 일정한 온도의 출력이 가능하고, 반응열이 커 축열밀도가 높고, 에너지운송에 이용가능한 반면, 일반적으로 비용이 높고, 반응온도가 높은 특징이 있다. 잠열축열은 열에너지에 따라 변화된 잠열에너지를 저장시키는 방법이다. 잠열량과 축열재의 질량에 따라 열에너지의 온도가 일정한 이점과 축열재의 비용이 높고 열교환기가 필요한 점과 같은 단점도 있다. 축열재로는 유기물, 무기염, 무기수화물(無機水和物) 등이 있고, 장치로는 캡슐형, 셀-튜브형 등이 개발되어 있다.

농도차 축열은 농도의 차이를 이용하는 것으로 용해도, 희석열, 혼합열, 흡착열), 흡수열을 이용하는 방법이 있다.

이상과 같은 축열장치의 에너지 저장성능은 효율, 에너지밀도, 응답성, 수명, 입출형태, 경제성 외에 입지조건, 환경보전성 등에서 차이가 나게된다.

구체적인 온도·습도제어시스템으로는 야간에 열음을 만들어 축열조에 저장하고, 주간냉방에 이용하는 빙축열 하베스트방식의 공조시스템이 있다.

그밖에 축열밀도가 크고, 냉난방온도에 적합한 잠열축열재를 이용한 축열식공조시스템이 있다. 최근 도시지역의 냉난방열원적용에는 에너지절약기술과 함께 이 축열기술이 주목받고있다.

향후과제

우리나라의 경우 지하 5m정도이하에서는 지상기온의 영향을 거의 받지 않으므로 이러한 지하의 항온성을 이용한 식품저장, 냉장, 냉동창고, 문서고 등으로의 활용은 활성화되어 있지만 업무 및 상업적 이용 또는 생활공간으로서의 이용에는 아직 해결해야 할

문제점이 많이 있다.

조명, 인체발열 등의 지나친 지하축열에 의한 냉방부하의 과대발생과 강제환기에 의한 에너지사용은 지상에 비할 때 반드시 유리하지는 않으므로 지중구조체의 항온성을 최적화하여 이용하므로서 환경 및 에너지에 대한 단점을 극복하여야 한다.

지하공간개발이 점차 대형화, 고심도화 되는 추세와 함께 앞으로 다양한 형태의 지하공간의 건설될 것이며 이를 장려하고 에너지 효율적인 공간으로 유도하기 위해서는 지하공간특성을 반영한 에너지절약 설계기법과 지하공간이 갖는 열에너지특성을 이용한 효율적인 시스템 개발 및 운전방안의 연구가 필요하다. ●

2001년도 동계학술발표대회 및 정기총회 안내

회원 여러분의 건승하심을 기원합니다.

우리 학회 2001년도 정기총회 및 동계학술발표대회(논문발표 및 학술강연회)를 11월 27일(화)에 한국과학기술회관 지하 1층 회의실에서 개최합니다.

우리 학회는 산, 학, 연을 연결시키는 중재자의 역할을 함과 동시에 학술발표대회(하계, 동계), 부문별 학술강연회, 강습회 등을 통하여 정보교류 및 친목을 도모할 수 있는 장을 마련하고 있습니다.

금번 동계학술발표대회에는 150여 편의 논문 및 학술강연을 발표하며, 전시회 공간도 마련하였습니다.

많은 회원이 참석하시어 자리를 빛내주시기 바라며, 회원 상호간에 많은 정보를 교류하시기 바랍니다.

※자세한 일정은 홈페이지(<http://www.sarek.or.kr>)의 공지사항을 참조하시기 바랍니다.